Aus der II. Medizinischen Abteilung des Bürgerspitals Basel.
Vorsteher: P. D. Dr. H. Ludwig.

Über den Ablauf der T-Zackenveränderungen im Arbeits-Elektrokardiogramm

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von

Urs Straumann

von Lostorf und Basel

1949

VERLAG VON S. KARGER IN BASEL

Von der Medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. H. Staub.

Tag der Promotion: 8. November 1947

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Sonderdruck aus „Cardiologia", Vol. XV, Fasc. 2 (1949).

Über den Ablauf der T-Zacken-Veränderungen im Arbeits-Elektrokardiogramm.

Bei der Beurteilung des Elektrokardiogrammes (Ekg.) nach körperlicher Arbeit konzentriert sich das Interesse auf die Veränderungen der Kammerendschwankung. Während die Veränderungen der ST-Strecke im allgemeinen übereinstimmend bewertet werden, gehen die Ansichten über die Bewertung der Größenänderungen der T-Zacken immer noch auseinander.

Nachdem *Walser* ein gegensätzliches Verhalten des Ablaufs der T-Zacken-Veränderungen nach schwacher und starker Belastung gefunden hat, schien es, daß ein verschiedener Ablauf der T-Zakken-Veränderungen je nach dem Funktionszustand des Myokards zu erwarten war. *Walser* fand bei starker Belastung eine Vergrößerung von T eine Minute nach Belastungsende, nach ca. 5 Minuten eine sekundäre T-Verkleinerung; bei schwacher Belastung dagegen fand er nach einer Minute eine primäre Verkleinerung, nach 5 Minuten eine Sekundärvergrößerung der T-Zacken. Im Anschluß an diese Untersuchungen versuchten wir, jene Belastungsgröße zu finden, bei der weder eine sekundäre Abflachung noch Erhöhung der T-Zacken gegenüber dem Ruhewert auftreten. Vielleicht ließe dann diese Belastungsgröße einen Schluß auf die Leistungsfähigkeit des Myokards zu.

Für unsere Untersuchungen wurde eine Methode gewählt, die eine Durchführung der Belastungsversuche im Liegen gestattet. Dadurch werden die allein durch das Abliegen hervorgerufenen klinostatischen Einflüsse auf das Ekg.-Bild und vor allem auf die T-Zackenhöhe ausgeschaltet, wie sie von *Schlomka* und *Reindell* (1936), *Janzen* sowie *Scherf* und *Weißberg* beschrieben sind.

Schon *Einthoven* fand eine Vergrößerung der T-Zacken nach Arbeit und viele andere bestätigen diese Ergebnisse. *Breu* und *Zollner* betrachteten noch 1940 eine T-Zacken-Abnahme nach Be-

lastung als einwandfrei pathologische Reaktion, trotzdem schon 1933 *W. Ludwig, Tarbucchi* und andere bei Gesunden eine Abnahme der T-Zackenhöhe nach Arbeit und *Kajiura* ein verschiedenes Verhalten je nach Belastungsgröße festgestellt hatten. Es ist vor allem das Verdienst von *Schlomka* und seinen Mitarbeitern, die Veränderungen in Abhängigkeit von der Belastungsgröße genauer untersucht zu haben. Auch *Holzmann* (1941) fand bei schwacher Belastung eine Vergrößerung von T über den Ruhewert, bei starker Belastung eine Verkleinerung.

Methode und Material.

Die Belastungsversuche wurden mit einem kalorischen Ergometer (System Reinert) durchgeführt, welches liegend mit den Armen betätigt wird. Durch die bei der Arbeit entstehende Reibungswärme wird eine Kupferplatte bestimmter Größe zwischen 2 Holzklötzen, an denen die Handgriffe zur Betätigung befestigt sind erwärmt. Aus der Temperaturdifferenz, der spezifischen Wärme und der Masse der Kupferplatte lassen sich die geleisteten Kalorien errechnen. Diese werden in Kilogrammeter (kgm) umgerechnet. Das Ergometer ist am Aufnahmebett befestigt und wird liegend betätigt. Der Aufnahmeapparat bleibt während der Belastung eingeschaltet, so daß die erste Aufnahme sofort nach Belastungsende erfolgen kann (Abb. 1).

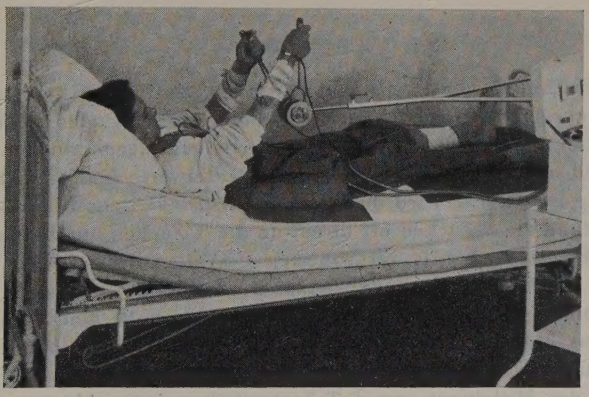

Abb. 1. Versuchsanordnung.

Vor jedem Belastungsversuch wird ein Ruhe-Ekg. aufgenommen, nachdem die Versuchsperson mindestens 15′ ruhig auf dem Aufnahmebett gelegen hat und die Pulsfrequenz während mindestens 5′ gleich geblieben ist. Damit darf angenommen werden, daß bei der Ruheaufnahme der Ruhepuls und der Ruhewert der T-Zackenhöhe tatsächlich erreicht sind. Nach der Be-

lastung erfolgt die erste Aufnahme sofort, d. h. in den ersten 15″ nach Beendigung der Arbeit, weitere Aufnahmen 1′, 2′, 3′, 5′, 7′, 10′ 15′, 20′, 25′ und 30′ nach Ende der Belastungen, bei den leichteren Belastungen nur bis 20′ nach Belastungsende.

Die Ekg. werden mit einem Verstärkerröhren-Apparat, System Elmquist, aufgenommen, welcher vier Ableitungen synchron registriert.

Es wurde der Ablauf der T-Zacken-Veränderungen unter gleichen Bedingungen und mit verschiedenen, quantitativ erfaßbaren Belastungsgrößen an einer Reihe gesunder Versuchspersonen und an einer Reihe Patienten untersucht.

In der *ersten Versuchsreihe* wurden Belastungsversuche an 10 klinisch herzgesunden Personen im Alter von 22—28 Jahren durchgeführt, darunter 2 sehr gut trainierte Sportler (Vers.-Pers. Nr. 6 und 10). Die Versuche erfolgten bei der gleichen Versuchsperson jeweils zur gleichen Tageszeit, da im Verlauf des Tages oft Änderungen in der T-Zackenhöhe auftreten (*Borgard, Herrmann* u. a.). Mit jeder Versuchsperson wurden 4 Versuche mit verschieden großen Belastungen durchgeführt (siehe Tab. 1).

In der *zweiten Versuchsreihe* wurden Belastungsversuche an 31 Patienten durchgeführt. Die Patienten sind in 3 Gruppen eingeteilt:

1. Gruppe: klinisch und elektrokardiographisch deutliche Symptome.
2. Gruppe: fragliche Veränderungen im Ruhe-Ekg., keine klinischen Zeichen einer Herzerkrankung.
3. Gruppe: objektiv (klinisch und elektrokardiographisch) unverdächtig, aber aus der übrigen Krankengeschichte Herabsetzung der Herzleistungsfähigkeit möglich.

Auswertung.

Zur Berechnung der Pulsfrequenz werden sämtliche RR-Distanzen jeder Aufnahme ausgemessen. Von jeder Aufnahme werden 4 oder mehr T-Zackenhöhen in Abb. 1 und 2 von der als isoelektrischen angenommenen PQ-Strecke ausgemessen und aus diesen T-Höhen die Mittelwerte für jede Ableitung berechnet. Die PQ-Strecke wird durchwegs als isoelektrische Linie benützt, weil nach Belastung die P-Zacken oft direkt an die T-Zacken anschließen oder aus den nach Belastung häufig vergrößerten U-Wellen hervorgehen, so daß die TP-Strecke nicht als Nullinie verwendet werden kann.

Die Genauigkeit der Ausmessung liegt innerhalb eines Bereiches von 0,2 mm, was bei einer T-Zackenhöhe von 2—6 mm einem Meßfehlerbereich von maximal 10 % entspricht. Dieser darf aber kleiner angenommen werden, da jeweils der Mittelwert von 4 T-Zackenhöhen jeder Ableitung verwendet wird. Mit Hilfe der Eichzackenhöhe (= 1 mV) werden die mittleren Ausschlagshöhen der T-Zacken in Millivolt umgerechnet. Aus den Werten von Ableitung 1 und 2 wird dann nach dem Einthovenschen Dreieck die Größe des T-Vektors (VT) errechnet nach der Formel:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\,T_2 - T_1}{T_1 \cdot \sqrt{3}} \qquad VT = \frac{T_1}{\cos \alpha}$$

Dabei bedeuten T_1 und T_2 die T-Höhen in mV in Abl. 1 bzw. 2, VT den Wert von Vektor-T in mV und α den Winkel, welchen die elektrische Momentanachse von VT zur Horizontalen bildet.

Für die Beobachtung des Verlaufs der T-Zackenveränderungen wurde immer der Wert des Vektors (VT) verwendet, womit Änderungen in den Höhen der T-Zacken einzelner Ableitungen, welche nur auf der Änderung der elektrischen Momentanachse beruhen, ausgeschaltet sind. Man erhält allerdings damit nur die VT-Größe, welche sich in die Frontalebene projiziert.

Die Zusammenstellung der Resultate erfolgt in der Weise, daß bei jedem Versuch die Abweichungen der VT-Werte nach Belastung vom VT-Wert in Ruhe in Prozenten angegeben werden. Die Ergebnisse sind tabellarisch, die Mittelwerte bei der ersten Versuchsreihe außerdem graphisch dargestellt.

1. Versuchsreihe (Gesunde).

Vier verschiedene Belastungsstufen (Tab. 1) bei 10 herzgesunden Versuchspersonen. Die Veränderungen der Pulsfrequenz sind in Tab. 2, diejenigen der VT-Größe in Tab. 3—6 dargestellt, der Verlauf der VT-Werte im Mittel aller Versuchspersonen außerdem in Abb. 2.

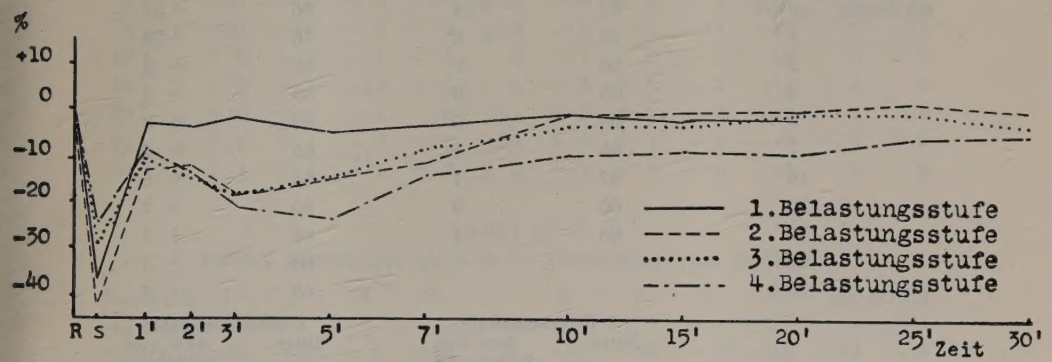

Abb. 2. VT-Mittelwerte bei den 4 Belastungsstufen, prozentuale Abweichung vom Ruhewert.

Die Belastungen in den einzelnen Belastungsstufen sind nicht bei allen Versuchspersonen gleich groß, da die Belastungsgrößen der individuellen Leistungsfähigkeit angepaßt wurden. Deshalb findet sich bei Vers.-Pers. Nr. 9 eine Belastung mit 200 kgm in der 1., bei Ver.-Pers. Nr. 3 eine Belastung von 170 kgm aber in der 2., bei Vers.-Pers. Nr. 5 eine Belastung mit 660 kgm in der 4. Belastungsstufe. Im großen und ganzen entspricht für den Betreffenden die 1. Belastungsstufe einer geringen, die 4. Stufe einer sehr starken Belastung.

TABELLE I.

Belastungsstufen der 1. Versuchsreihe mit Dauer und Leistung der einzelnen Belastungen.

Vers.-Pers. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel
1. Bel'st. kgm	120	100	120	125	100	100	160	165	200	110	130
Dauer Sek.	20	25	40	25	30	25	50	30	30	30	30
Leistung kgm/Sek.	6	4,0	2,8	5	3,3	4	3,2	5,5	6,7	3,7	4,4
2. Bel'st. kgm	275	470	170	250	230	250	470	450	380	360	330
Dauer Sek.	25	55	40	50	50	20	75	65	65	70	52
Leistg. kgm/Sek.	11	8,3	4,3	5	4,6	12,5	6,3	6,8	5,7	5,1	7
3. Bel'st. kgm	730	800	880	600	450	725	770	825	840	725	735
Dauer Sek.	145	110	125	100	160	175	225	220	130	145	155
Leistung kgm/Sek.	5	7,1	7	6	2,8	4,1	3,4	3	6,5	5	5
4. Bel'st. kgm	1275	2270	1300	1050	660	1330	1000	1200	1000	1000	1210
Dauer Sek.	370	405	330	170	220	460	425	475	305	270	345
Leistg. kgm/Sek.	3,5	5,6	3,9	6,2	3	2,9	2,4	2,5	3,3	3,7	3,7

TABELLE II.

Pulsfrequenz bei den verschiedenen Belastungsstufen.

		1. Belastungsstufe Mittel	1. Belastungsstufe Abw. vom Ruhewert %	2. Belastungsstufe Mittel	2. Belastungsstufe Abw. vom Ruhewert %
	Ruhe	66		61	
nach Belastung	sofort	82	+24	96	+57
	1′	70	+ 6	76	+25
	2′	66	0	66	+ 8
	3′	66	0	63	+ 3
	5′	66	0	63	+ 3
	7′	65	— 1	65	+ 7
	10′	67	+ 1	64	+ 5
	15′	66	0	65	+ 7
	20′	65	— 1	65	+ 7
	25′			63	+ 3
	30′			62	+ 2

		3. Belastungsstufe Mittel	3. Belastungsstufe Abw. vom Ruhewert %	4. Belastungsstufe Mittel	4. Belastungsstufe Abw. vom Ruhewert %
	Ruhe	61		63	
nach Belastung	sofort	100	+64	112	+78
	1′	77	+26	94	+49
	2′	75	+23	87	+38
	3′	72	+18	82	+30
	5′	70	+15	83	+32
	7′	71	+16	80	+27
	10′	72	+18	79	+25
	15′	70	+15	75	+19
	20′	68	+11	75	+19
	25′	68	+11	70	+11
	30′	68	+11	71	+13

TABELLE III.

VT bei Belastungsstufe 1 in % Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr. nach Belastg.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel
sofort	—30	—62	—38	—36	—44	—52	— 9	—30	—52	—13	—37
1′	—12	— 5	— 6	+ 2	— 5	— 5	— 1	— 2	+ 2	— 2	— 3
2′	—11	+ 2	— 2	— 3	—11	— 4	+ 2	— 5	— 8	+ 1	— 4
3′	—10	+ 6	— 3	+ 3	— 2	— 1	+ 3	— 7	—10	— 1	— 2
5′	—17	— 1	— 1	— 3	— 6	—12	0	— 4	0	— 3	— 5
7′	—11	+ 1	— 7	+ 4	+ 1	— 6	— 2	— 8	— 2	+ 1	— 3
10′	— 7	+ 7	— 3	+ 4	+ 4	— 9	— 3	+ 2	0	— 3	— 1
15′	+ 4	+ 4	— 6	— 4	+ 2	— 8	0	— 1	— 4	— 5	— 2
20′	+ 3	+ 9	— 4	+ 1	— 6	— 3	— 7	— 2	— 6	— 2	— 2

TABELLE IV.

VT bei Belastungsstufe 2 in % Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr. nach Belastg.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel
sofort	—41	—58	—19	—32	—53	—38	—29	—27	—68	—56	—42
1′	—24	—29	— 5	— 8	—27	— 5	— 7	— 2	—14	— 5	—13
2′	—18	—30	— 1	—10	—25	0	—10	— 3	—17	— 6	—12
3′	—39	—25	— 3	—27	—40	— 7	— 8	— 3	—16	— 9	—18
5′	—27	—16	— 4	—18	—29	—15	— 5	— 4	—13	—10	—14
7′	—21	—20	— 3	— 9	—19	—15	— 5	—14	—10	— 7	—12
10′	+ 6	— 2	— 1	+ 4	0	— 1	0	— 3	—10	0	— 1
15′	+ 9	— 1	—12	+ 5	+ 5	— 5	+ 2	— 7	— 4	+ 4	0
20′	+13	+ 3	— 4	0	+ 1	+ 3	+ 3	— 5	—11	+ 1	0
25′	+ 6	+ 1	— 3	+ 2	+13	+ 5	+ 1	— 2	— 3	— 1	+ 2
30′	+ 4	+ 1	— 1	+ 2	0	+ 2	+ 2	— 3	— 5	0	0

TABELLE V.

VT bei Belastungsstufe 3 in % Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr. nach Belastg.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel
sofort	—35	—29	+ 6	—45	—35	—21	—23	— 6[1]	—45	—42	—28
1′	—29	+15	0	—25	—29	— 4	—26	—12	+ 2	0	—11
2′	—23	+17	—15	—32	—34	— 3	—21	—15	—10	— 1	—14
3′	—32	+11	—20	—28	—40	—22	— 5	—20	—19	— 8	—18
5′	—18	— 2	—22	—27	—21	—12	+ 2	— 3	—27	—10	—14
7′	— 7	— 4	— 9	—21	— 2	— 6	— 2	— 1	—20	— 9	— 8
10′	— 4	—15	— 2	—10	+ 3	+ 3	+12	— 5	—15	+ 1	— 3
15′	— 5	+ 1	—10	—10	+14	— 4	— 6	+ 3	— 4	— 8	— 3
20′	— 2	+ 3	— 2	—10	+13	+13	— 9	0	— 7	— 7	— 1
25′	— 2	— 3	— 2	—10	— 1	+ 8	— 3	— 2	— 8	+10	— 1
30′	— 1	+ 5	— 2	— 4	— 5	+ 1	—13	— 4	— 2	— 3	— 3

[1] konnte aus technischen Gründen erst 25″ nach Belastungsende aufgenommen werden.

TABELLE VI.

VT bei Belastungsstufe 4 in % Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr. nach Belastg.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel
sofort	—33	—30	+ 8	— 6	—50	—33	—17	—17	—38	—25	—24
1′	—30	— 1	+14	+ 5	—35	+ 1	—14	— 7	— 2	—10	— 8
2′	—29	+ 8	+ 3	—10	—42	— 1	—14	—20	—11	—25	—13
3′	—46	— 6	— 4	—31	—53	+ 2	—15	—12	—16	—29	—21
5′	—43	—25	— 7	—37	—44	—11	—12	—12	—14	—28	—23
7′	—30	—22	+ 5	—32	—20	— 3	0	— 3	—17	—18	—14
10′	—24	—18	+10	—23	—12	— 4	+ 2	— 2	—21	— 9	—10
15′	— 7	— 8	— 1	—15	—21	—12	— 1	— 9	— 3	— 6	— 8
20′	—11	—18	—10	—20	—13	+ 3	+ 1	—12	— 8	+ 5	— 9
25′	— 7	— 8	+ 3	—16	—18	+10	— 3	—13	—10	— 1	— 6
30′	— 5	— 2	— 6	—11	—18	+ 3	— 7	— 9	— 8	+ 3	— 6

TABELLE VII.

Stärkste individuelle Abweichungen von den Mittelwerten.

	1. Stufe			2. Stufe			3. Stufe			4. Stufe		
	Nr.	VT %	Zeit	Nr.	VT %	Zeit	Nr.	VT %	Zeit	Nr.	VT %	Zeit
geringe Primärverkleinerung	7	— 9					3	+ 6		3	+ 8	
										4	— 6	
starke Sekundärverkleinerung	1	—17	5′	1	—39	3′	1	—32	3′	1	—46	3′
				5	—40	3′	4	—32	2′	4	—37	5′
				2	—30	2′	5	—40	3′	5	—53	3′
geringe Sekundärverkleinerung				3	— 4	5′	2	—15	10′	3	— 7	5′
				7	—10	2′	7	— 5	3′	6	—11	5′
										7	—15	3′
lange Dauer der Sekundärverkleinerung				9	—10	10′	2	—15	10′	1	—24	10′
							4	—10	25′	2	—18	10′
							9	—15	10′	4	—20	20′
										9	—21	10′

Nr. = Versuchsperson Nr.
VT% = Abweichungen von VT vom Ruhewert in %.
Zeit = Zeitpunkt nach Belastungsende, bei dem der zugehörige VT-Wert gefunden wurde.

Die *Pulsfrequenz* zeigt sofort nach der Belastung ihre größte Steigerung, die naturgemäß um so höher ist, je größer die Belastung war. Bei der 1. Belastungsstufe beträgt der Anstieg im Mittel 25 %, bei der 2. 57 %, bei der 3. 64 % und bei der 4. Stufe 78 %.

Die Rückkehr zum Ruhewert geht um so langsamer vor sich, je stärker die Belastung war. Die Frequenzsteigerung sinkt unter 20%:

bei der 1. Belastungsstufe vor der 1. Minute,
bei der 2. Belastungsstufe zwischen 1. und 2. Minute,
bei der 3. Belastungsstufe zwischen 2. und 3. Minute,
bei der 4. Belastungsstufe zwischen 10. und 15. Minute.

Bei der 3. Stufe beträgt die Steigerung nach 20—30′ immer noch 11 %, bei der 4. nach 20′ noch 19 % und nach 30′ noch 11 %.

Die Werte des *Vektor T* zeigen bei allen vier Belastungsstufen im Durchschnitt eine starke Abnahme sofort nach der Belastung. Diese *Primärverkleinerung* ist am ausgeprägtesten bei den schwachen Belastungen, am geringsten bei der stärksten Belastung. In

TABELLE VIII.

Rückkehr der Primärverkleinerung von VT gegen den Ruhewert.
Vers.-Pers. Nr. 2, 1. Belastungsstufe

Zeit n. Bel.	VT in % vom Ausgangswert
2″	—62
10″	—55
20″	—33
30″	—18
40″	—14
50″	— 9
1′	— 5
1′30″	+ 2
2′	+ 2

der 1. Minute kehrt VT gegen den Ruhewert zurück, bleibt aber bei den untersuchten Personen im Durchschnitt bei allen Belastungen etwas tiefer. Die Rückkehr gegen den Ruhewert beginnt schon nach 10″ und geht ziemlich gleichmäßig vor sich, wie Tab. VIII zeigt. Von der 1. bis 2. Minute an erfolgt dann eine *sekundäre Verkleinerung von VT,* und zwar ist diese um so ausgesprochener, je stärker die Belastung war. Bei der schwächsten Belastung ist sie überhaupt nicht zu beobachten, bei der 2. und 3. Belastungsstufe beträgt sie 18 % und bei der 4. Stufe 23 %, also fast ein Viertel des Ruhewertes. Bei der 4. Stufe ist die Sekundärverkleinerung zudem etwas später am stärksten, nämlich nach 5′, während sie bei den mittleren Belastungen nach 3′ am deutlichsten in Erscheinung tritt. Von der 10. Minute an hat sich bei allen Belastungsstufen die VT-Größe dem Ruhewert bis auf weniger als 10 % genähert.

Wird die erste Aufnahme nach Belastung nicht vor einer halben Minute nach Belastungsende registriert, wie das ohne besondere Versuchsanordnung unmöglich ist (Belastung bei angeschlossenem Patienten und eingeschaltetem Apparat), ergibt sich natürlich für Abb. 2 ein wesentlich anderes Kurvenbild, da die Primärveränderung der T-Zacken, die sich im wesentlichen in der ersten halben Minute nach Belastungsende abwickelt, nicht erfaßt wird.

Die maximale sekundäre VT-Verkleinerung beträgt:

in der 1. Belastungsstufe —17 % bei Vers.-Pers. Nr. 1,
in der 2. Belastungsstufe — 40 % bei Vers.-Pers. Nr. 1 und 5,
in der 3. Belastungsstufe —40 % bei Vers.-Pers. Nr. 5,
in der 4. Belastungsstufe —53 % bei Vers.-Pers. Nr. 5.

In Tab. VII sind diejenigen Resultate zusammengestellt, welche deutliche individuelle Abweichungen des VT-Verhaltens von den Durchschnittswerten ergeben.

Ueber das Verhalten der einzelnen Versuchspersonen, ihre Ekg. und vegetative Reaktionslage, soweit sie aus dem Ekg. und der Pulsfrequenz ersichtlich ist, kurz folgendes:

Vers.-Pers. Nr. 1 zeigt bei allen Belastungsstufen eine starke Sekundärverkleinerung, zudem in Stufe 4 eine lange Dauer der sekundären VT-Verkleinerung. Im Ekg. steilgestellte elektrische Herzachse und vagotone Zeichen (hohe T-Zacken, leichte Erhöhung der ST-Strecken in allen Abl.).

Vers.-Pers. Nr. 2 zeigt in Belastungsstufen 1 und 3 geringe Sekundärvergrößerungen, welche in der 3. Stufe, allerdings spät (nach 10′), nochmals in eine 15%ige VT-Verkleinerung übergeht. Bei der 2. Belastungsstufe dagegen tritt eine starke Sekundärverkleinerung auf. Möglicherweise hängt diese verschiedene Reaktionsart mit einem Wechsel der vegetativen Lage an den verschiedenen Versuchstagen zusammen. In den Ruhe-Ekg. der beiden Versuche lassen sich allerdings keine Differenzen feststellen. Sie zeigen eine steilgestellte Herzachse, hohe T-Zacken und erhöhte ST-Strecken in allen 3 Abl., also Zeichen von überwiegendem Vagustonus.

Vers.-Pers. Nr. 3 zeigt bei Stufe 2 und 4 geringe, bei Stufe 3 dagegen durchschnittliche Sekundärverkleinerung von VT. Auch hier lassen die Ruhe-Ekg. der verschiedenen Versuchstage keine Unterschiede erkennen. Sie weisen mit ziemlich hohen T-Zacken und Erhöhung der ST-Strecken in Abl. 2 und 3 vagotone Zeichen auf. In der 3 und 4. Belastungsstufe tritt eine geringe primäre VT-Vergrößerung auf, nach dem Versuch mit stärkster Belastung finden sich zudem in den Aufnahmen 1′, 3′ und 5′ nach Belastungsende einzelne vom a.-v.-Knoten ausgehende Extrasystolen. Die QRS-Dauer beträgt 0,1″, liegt also an der obern Grenze der Norm. Nach Belastung ist sie weder verlängert noch verkürzt. Die Reaktion in der 4. Belastungsstufe scheint immerhin für eine herabgesetzte Anpassungsfähigkeit des Herzens an starke Belastung zu sprechen (Extrasystolen; Primärvergrößerung von VT).

Vers.-Pers. Nr. 4 zeigt in den beiden größten Belastungsstufen ziemlich

starke und langdauernde Sekundärverkleinerungen von VT, bei der 4. Stufe zudem eine geringe Primärverkleinerung. Das Ekg. zeigt eine eher quergestellte elektrische Herzachse, sonst keine Besonderheiten.

Vers.-Pers. Nr. 5, eine 28jährige Turnlehrerin, ist die einzige weibliche Versuchsperson der 1. Versuchsreihe (die großen Belastungen sind hier etwas geringer als bei den übrigen Versuchspersonen). Sie zeigt in der 2., 3. und 4. Belastungsstufe eine starke sekundäre VT-Verkleinerung, die zudem in der 4. Stufe lange dauert. Die Bradykardie von 56 und der Blutdruck von 105/75 zeigen eine Vagotonie. Dazu stehen die nur ca. 0,25 mV hohen T-Zacken(VT) in einem auffallenden Gegensatz. Da vermutet wurde, daß auf die Herzkammern ein überwiegender Sympathicustonus einwirke, wurde ein Ergotaminversuch gemacht. 20′ nach 1 mg DHE 45 intravenös vergrößerte sich VT um 53 %. Durch den verstärkten Vagustonus sank die Pulsfrequenz auf 46, und es trat 40′ nach der Injektion Erbrechen auf. Die Beobachtung zeigt, daß die Herzkammern überwiegend sympathicotonisch innerviert sein können, trotzdem der Sinus unter einem starken Vagustonus steht.

Vers.-Pers. Nr. 6, einer der zur Zeit besten schweizerischen Mittelstreckenläufer in sehr gutem Trainingszustand, zeigt in Belastungsstufe 4 eine geringe Sekundärverkleinerung von VT. Das Ekg. zeigt Steilstellung der R-Achse, dagegen Querstellung der T-Achse (leicht negatives T_3 bei hohem T_1 und T_2). Die ST-Strecken in Abl. 1 und 2 sind leicht erhöht, zusammen mit der Bradykardie und den hohen T-Zacken Zeichen des überwiegenden Vagustonus.

Vers.-Pers. Nr. 7 zeigt eine geringe Primärverkleinerung von VT in der ersten, relativ geringe Sekundärverkleinerungen in der 2., 3. und 4. Belastungsstufe. Bei dieser Versuchsperson tritt zudem bei der 1. Belastung die geringste Pulsfrequenzsteigerung (8 %) auf, so daß die geringe Primärverkleinerung vielleicht mit der allgemeinen schwachen Reaktion auf leichte Belastung zusammenhängt. Das Ekg. zeigt Zeichen von erhöhtem Vagustonus: hohe T-Zacken, leichte Erhöhung der ST-Strecken in Abl. 2 und 3.

Vers.-Pers. Nr. 8 zeigt ein durchschnittliches Verhalten der VT-Veränderungen bei unauffälligem Ekg.

Vers.-Pers. Nr. 9 weist in den Belastungsstufen 2, 3 und 4 eine jeweils bis 10′ dauernde, aber normal starke Sekundärverkleinerung von VT auf. Die Ruhepulsfrequenz dieses Probanden ist mit 79 mit Abstand am höchsten. Das Ekg. zeigt jedoch keine Zeichen eines erhöhten Sympathicustonus. Die T-Zakken sind mittelhoch, die ST-Strecken in Abl. 2 und 3 leicht erhöht.

Vers.-Pers. Nr. 10, ein sehr gut trainierter Handballer aus einer schweizerischen Spitzenmannschaft, zeigt durchschnittliche VT-Veränderungen. Sein Ekg. weist vagotone Zeichen auf: hohe T-Zacken, leichte Erhöhung von ST_1 und ST_2. P_3 ist diphasisch.

Bei der Betrachtung der individuellen Abweichungen von den Durchschnittswerten findet sich eine durchwegs starke und teilweise auch langdauernde sekundäre VT-Verkleinerung bei den Versuchspersonen 1 und 5, eine unterdurchschnittlich geringe Sekundärverkleinerung bei den Probanden 3, 6 und 7. Vers.-Pers. Nr. 9 zeigt eine lange Dauer der Sekundärverkleinerung in allen Belastungen. *Walser* hat auf Grund der Ergebnisse von *Nordenfelt, Leitner* und *Steinlin* und *H. Ludwig,* welche unter experimentell erhöhtem

Vagustonus eine Erhöhung, unter erhöhtem Sympathicustonus eine Erniedrigung der T-Zacken festgestellt hatten, Belastungsversuche unter der Einwirkung vegetativer Pharmaka angestellt. Dabei fand er, daß mit Physostigmin-Gynergen erhöhter Vagustonus zu einer verminderten Sekundärverkleinerung von VT führt, während bei mit Sympatol-Atropin erhöhtem Sympathicustonus die Sekundärverkleinerung von VT nach Belastung gegenüber den Kontrollversuchen verstärkt war. Es lag daher nahe, das Ausmaß der Sekundärverkleinerung von VT bei unseren einzelnen Versuchen mit der vegetativen Tonuslage der Versuchsperson, wie sie sich im Ekg. und in der Pulsfrequenz zeigt, zu vergleichen. Es kann jedoch hier keine eindeutige Beziehung gefunden werden. Wohl zeigen die Vers.-Pers. Nr. 5 mit besonders starker und Nr. 9 mit langdauernder sekundärer VT-Verkleinerung Anzeichen für einen erhöhten Sympathicustonus (bei Nr. 5 nur im Ausmaß der T-Zakkenhöhe, bei Nr. 9 nur in der Pulsfrequenz!), doch zeigt Vers.-Pers. Nr. 1 mit durchwegs starken Sekundärverkleinerungen von VT ein vagotones Ekg. Die Versuchspersonen, welche bei starker Belastung eine unterdurchschnittliche Sekundärverkleinerung aufweisen (Nr. 3, 6 und 7), zeigen alle drei in Ekg. und Pulsfrequenz einen erhöhten Vagustonus. Die Beziehung zwischen dem Ausmaß der sekundären VT-Verkleinerung und der vegetativen Tonuslage ist also nicht abzulehnen, ist aber mit den vorliegenden Ergebnissen auch nicht bewiesen. Es ist durchaus nicht sicher, ob die Resultate, welche *Walser* bei künstlich veränderter vegetativer Tonuslage fand, ohne weiteres auch auf die natürliche Reaktionslage übertragen werden dürfen.

Besprechung der Ergebnisse bei Gesunden.

Beim Vergleich der Ergebnisse der 1. Versuchsreihe mit den Angaben der Literatur fällt vor allem auf, daß bei unseren Versuchen nur ganz ausnahmsweise Vergrößerungen von VT über den Ruhewert aufgetreten sind und daß auch diese nur geringfügig waren. *Einthoven, Müller* und *Nicolai, Herxheimer, Kostjukow* und *Rieselmann, Takenaka* und Mitarbeiter, *Schulz, Holzmann, Meier* u. a. fanden bei Gesunden meist eine Zunahme der T-Zackenhöhe nach Arbeit, wobei immer eine Belastungsart bei aufrechtem Körper gewählt wurde (Kniebeugen, Treppensteigen, Lauf, Fahrradergometer etc.).

Daß eine Vergrößerung der T-Zacken bei unseren Versuchen nicht beobachtet wurde, konnte also daran liegen, daß auf die Arbeit im Liegen eine andere Reaktionsart erfolgt als auf Arbeit bei aufrechtem Körper und anschließender Ekg.-Registrierung im Liegen. Unveröffentlichte Versuche von *H. Ludwig* und *A. Walser* haben ergeben, daß die klinostatische Wirkung für die Frühveränderungen der T-Zacke nach Belastung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Andererseits konnte vielleicht die ausschließlich aus Armarbeit bestehende Belastungsart unserer Versuche nicht groß

genug gewählt werden, um eine Reaktion mit Primärvergrößerung der T-Zacken hervorzurufen, wie sie *Schlomka* bei seiner als Typ B beschriebenen Reaktionsart fand. Immerhin trat bei Vers.-Pers. Nr. 3 angedeutet schon in der 3., etwas deutlicher in der 4. Belastungsstufe eine Primärvergrößerung von VT auf, allerdings innerhalb des Meßfehlerbereiches. Signifikante Primärvergrößerungen wurden dagegen erst in der 2. Versuchsreihe gefunden.

Eine Reihe von Untersuchern, u. a. *W. Ludwig, Tarbucchi, Larsen* und *Nielsen, Reindell* und *Delius, Riseman* und Mitarbeiter, *Albers* und *Heinen, Frade* fanden bei Gesunden nach Belastung eine Abnahme der T-Zackenhöhe, wie in den vorliegenden Versuchen. *Kajiura, Schlomka* und Mitarbeiter, *Marzahn, Reindell, Holzmann, Laurentius* und *Walser* fanden eine Abhängigkeit des T-Zackenablaufes von der Belastungsgröße. Auch diese Untersuchungen wurden jeweils mit Belastungen bei aufrechtem Körper durchgeführt.

Schlomka, Reindell und *Malamani* fanden im allgemeinen einen gleichen Ablauf der T-Zacken-Veränderungen, wie er sich bei unseren Versuchen zeigte. Sie bezeichneten diese Reaktionsart mit primärer T-Verkleinerung als Typ A. Im Gegensatz dazu fanden sie, besonders nach stärkerer Belastung, einzelne Fälle mit Primärvergrößerung der T-Zacken, welche nach 5—10′ in eine ausgesprochene Sekundärverkleinerung überging. Diese als Typ B bezeichnete Reaktionsart betrachteten sie als der körperlichen Belastung weniger angepaßt. Es ist aus den Angaben der Autoren allerdings nicht ersichtlich, inwiefern die Veränderungen auf Änderungen der elektrischen Herzachse beruhen, da nur die T-Zackenhöhen in einer Thoraxableitung oder in einzelnen Extremitätenableitungen verfolgt wurden.

Walser fand einen auffallenden Gegensatz zwischen der Reaktionsweise bei schwacher und bei starker Belastung. Bei dieser fand er eine Primärvergrößerung von VT um 12 % 1′ nach Belastungsende (bei seinen Untersuchungen konnte das erste Ekg. erst 1′ nach Belastungsende aufgenommen werden) und eine Sekundärverkleinerung um 22 % 10′ nach Belastung. Nach schwacher Belastung sah er eine primäre VT-Verkleinerung nach 1′ um 23 % und eine Sekundärvergrößerung um 12 % nach 10′. Die Ergebnisse bei leichter Belastung betrachtet er allerdings nicht als gesichert, da nur 4 Personen untersucht wurden und nicht alle die gleiche Reaktionsart aufwiesen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen wohl die sekundäre VT-Verkleinerung bei schwerer Belastung, die Sekundärvergrößerung bei leichter Belastung hingegen wurde nicht gefunden.

Bei der leichtesten Belastungsstufe bleiben die VT-Werte im Mittel von der ersten Minute an ganz in der Nähe des Ruhewertes. Auch die einzelnen Versuche zeigen nur geringe Schwankungen bis zu 10 % um den Ruhewert mit Ausnahme von Vers.-Pers. Nr. 1, bei der nach 5′ eine Sekundärverkleinerung von 17 % auftritt. Schon bei der 2. Belastungsstufe tritt eine deutliche Sekundärverkleinerung der T-Zacken auf. Auch hier zeigt die Betrachtung des individuellen Verhaltens in keinem Falle eine signifikante Sekundärvergrößerung. In der 3. Belastungsstufe tritt in einem Falle (Vers.-Pers. Nr. 2) nach einer 30%igen Primärverkleinerung eine Vergrößerung von VT auf, welche 2′ nach Belastungsende mit +17 % ihr Maximum erreicht, nach 10′ aber nochmals in eine 15%ige Verkleinerung übergeht. Bei der 4. Belastungsstufe tritt in keinem Fall eine sekundäre VT-Vergrößerung auf.

Im Anschluß an Arbeitsleistung im Liegen bestehen die sekundären (d. h. erst 1—2 Minuten nach Belastungsende einsetzenden) Größenänderungen von VT in einer mit zunehmender Belastung deutlicheren und länger dauernden Abnahme. Bei leichtester Belastung finden sich im Anschluß an eine ausgesprochene primäre (d. h. nach 1 Minute bereits wieder ausgeglichene) Abnahme überhaupt keine sekundären Größenänderungen von Vektor T.

Um eine *Erfassung pathologischer Reaktionen* zu ermöglichen, sind in Tab. IX die Differenzen zwischen Vektor T und dem entsprechenden Wert bei Körperruhe in Abhängigkeit von der Arbeitsintensität und vom Zeitabstand vor der Arbeit aufgeführt. Die Zusammenstellung der durchschnittlichen Pulsfrequenz soll einen Vergleich mit anderen Belastungsarten erleichtern. Die hier benutzte reine Armarbeit ergibt erst bei stärkerer Belastung (Stufe 3 entsprechen 5 kgm/Sek. während 155 Sek. insgesamt 735 kgm) einen deutlichen Einfluß auf die mittlere Pulsfrequenz, und zwar bis zu 10 Minuten nach der Arbeit, während Vektor T bei gleicher Belastung weder nach 2, nach 5, noch nach 10 Minuten deutlich von Belastungsstufe 2 abweicht. Die Pulsfrequenz zeigt 10 Minuten nach der Belastung keinen ausgesprochenen Unterschied zwischen Belastungsstufe 3 und 4, während Vektor T sich sehr deutlich unterscheidet. Die Regulation der Pulsfrequenz und der T-Höhe sind somit voneinander weitgehend unabhängig.

In bezug auf Vektor T können Belastungen im Bereich zwischen 200—800 kgm (im Durchschnitt 6 kgm/Sek. während $^1/_2$—$1^1/_2$ Min.) als mittlere Arbeitsintensität bezeichnet werden. Diese werden in Anpassung an die individuelle Leistungsfähigkeit zur Beurteilung von VT im Belastungs-Ekg. bei pathologischem und fraglich krankhaftem Herzen herangezogen. Dabei ist zu beachten, daß die gleiche Gesamtarbeitsleistung bei Verteilung auf eine längere

Ausführungsdauer einer geringeren Leistung entspricht, so daß immer die Leistung pro Zeiteinheit (kgm/Sek.) und die Dauer der Arbeit berücksichtigt werden sollte.

Zur Beurteilung von VT nach Belastung werden am besten Ekg. 3, 5, 10 und 15 Minuten nach Ende der Arbeit registriert. Dabei können als *Normgrenze*[1] folgende VT Abnahmen gelten:

Belastung nach	bei schwacher	bei mittlerer	bei starker Arbeitsleistung
3 Minuten	10 %	40 %	50 %
5 Minuten	15 %	30 %	40 %
10 Minuten	10 %	15 %	25 %
15 Minuten	10 %	10 %	20 %

TABELLE IX.

Einfluß abgestufter Arbeitsleistungen auf Pulsfrequenz und Vektor T bei Herzgesunden.

(Abweichung in Prozenten des Ruhewertes).

Belastungsstufe:		1	2	3	4
Frequenz nach	3′	0	+3	+18	+30
	5′	0	+3	+15	+32
	10′	+1	+5	+18	+25
	15′	0	+7	+15	+19
Vektor T nach	3′	—2	—18	—18	—21
		(—10/+6)	(—40/—3)	(—40/+11)	(—53/+2)
	5′	—5	—14	—14	—23
		(—17/+0)	(—29/—4)	(—27/+2)	(—43/—7)
	10′	—1	—1	—3	—10
		(—9/+7)	(—10/+6)	(—15/+12)	(—24/+10)
	15′	—2	0	—3	—8
		(—8/+4)	(—12/+9)	(—10/+14)	(—21/—1)

Ob auch fehlende Primärverkleinerungen der T-Zacken in den ersten 15 Sekunden nach Belastungsende, besonders nach leichter Belastung, als Zeichen einer mangelhaften Anpassungsfähigkeit des Herzmuskels an körperliche Arbeit zu bewerten sind, muß dahingestellt bleiben.

2. Versuchsreihe (Kranke).

Untersuchungen an 31 herzkranken und fraglich herzkranken Patienten mit Belastungen, die den Belastungsstufen 1 bis 2 der 1. Versuchsreihe (Tab. I) entsprechen.

1. Gruppe: klinisch und elektrokardiographisch deutliche Symptome (3 Pat.).

[1] Die Mittelwerte liegen viel tiefer, s. Tab. III—VI.

2. Gruppe: fragliche elektrokardiographische Veränderungen im Ruhe-Ekg. (6 Pat.).

3. Gruppe: objektiv (klinisch und elektrokardiographisch) unverdächtig, aber aus der übrigen Herzleistungsfähigkeit möglich (22 Pers.).

Die 1. Gruppe zeigt klinisch Herzdekompensation oder anginöse Beschwerden, elektrokardiographisch Myokardschaden resp. Koronarinsuffizienz.

Bei der 2. Gruppe ist elektrokardiographisch fraglicher Myokardschaden festgestellt (minimale ST-Senkung oder Abflachung der T-Zacken). Dabei handelt es sich um 1 Patientin mit nervösen klimakterischen Beschwerden, 2 Pat. mit rheumatischen Erkrankungen (1 Lumbago und chron. Ischias, 1 Polyarthritis rheumatica), 1 Pat. mit Facialisparese apoplektischer Genese, der zudem bei Anstrengung anginöse Beschwerden angab, um einen Rekonvaleszenten nach rezidivierender Bronchopneumonie und um 1 Patientin mit unspezifischem Lungeninfiltrat bei Bronchiektasien.

Die 3. Gruppe zeigt weder ein pathologisches Ekg. noch klinisch Zeichen von Myokardschaden oder Dekompensation. Sie setzt sich zusammen aus 5 Fällen von vegetativer Labilität oder Neurasthenie, 3 Patienten mit rheumatischen Erkrankungen, 7 Rekonvaleszenten von infektiösen Erkrankungen, 6 Pat. mit verschiedenen Erkrankungen (1 Tetanie, 1 akute Gastritis, 1 Ulcus ventriculi, 1 chronische Gastritis, 1 Hypertonie und 1 Epilepsie) und einem beschwerdefreien Studenten, der eigentlich für die 1. Versuchsreihe vorgesehen war, bei der klinischen Untersuchung jedoch eine gut kompensierte Aorteninsuffizienz zeigte.

Die Belastungsversuche der *1. Gruppe* zeigen in allen drei Fällen eine für die geringe Belastungsgröße starke Sekundärverkleinerung von VT. In einem Falle (Nr. 13) tritt außerdem an Stelle der bei Gesunden beobachteten Primärverkleinerung eine starke primäre Vergrößerung von VT auf.

Vers.-Pers. Nr. 13, P. K., 65jährige Herzpat., Atemnot bei Anstrengung, Blutdruck 295/140, Hypertrophie und Dilatation des linken Ventrikels, aortale Konfiguration des Herzens. Spitzenstoß im 5. ICR 1 Querfinger außerhalb Medioclavicularlinie. Über der Spitze ein schabendes systol. Geräusch und ein leises diastolisches Geräusch. Im Ekg. starker Linkstyp, QRS-Dauer 0,1 ″, Senkung der ST-Strecken in Abl. 1 und 2, ziemlich flache T-Zacken.

Der erste Versuch mit kleiner Belastung: 65 kgm in 55 ″ (Tab. X Nr. 13a) zeigt eine starke Primärvergrößerung von VT, von der 7.—10. Minute eine Sekundärverkleinerung von 20 %, für die geringe Belastung stark ausgeprägt und lange dauernd. Beim Versuch mit 120 kgm in 1 ′ 50 ″ (Tab. X Nr. 13b), etwa Belastungsstufe 1 der 1. Versuchsreihe entsprechend, tritt ebenfalls eine starke Primärvergrößerung von VT auf, die von der 3.—10. Minute in eine sehr starke und langdauernde Sekundärverkleinerung bis zu 40 % übergeht. Die Pat. gibt 10 ′ nach Belastungsende an, nichts mehr von der Anstrengung zu spüren, auch tritt bei keinem Versuch Atemnot auf.

Hier zeigt eine Pat. mit sicher herabgesetzter Myokardleistungsfähigkeit sowohl eine starke Primärvergrößerung als auch eine starke Sekundärverkleinerung von VT nach leichter Belastung. Allerdings ist darauf hinzuweisen, daß der Meßfehlerbereich bei einer T-Zackenhöhe von ca. 1,5 mm, wie sie die Pat. aufweist, bei ca. 20 % liegt.

Vers.-Pers. Nr. 29, M. W., 64jährige, wegen beidseitiger Bronchopneumonie hospitalisierte Patientin. Herz: Spitzenstoß im 6. ICR in Medioclav.-linie. Rauhes systol. Geräusch mit Maximum über dem Erbschen Punkt. BD 195/105 mm, Lungenstauung.

Beim Belastungsversuch mit 120 kgm in 2′ (Tab. X Nr. 29) tritt eine Sekundärverkleinerung von VT auf, welche bei der geringen und langsam geleisteten Arbeit mit fast 30 % auffallend groß ist. Die Belastung wurde nicht als besonders große Anstrengung empfunden. Es tritt also bei geringer Leistungsfähigkeit hier schon bei leichter Belastung eine starke sekundäre VT-Verkleinerung auf.

Vers.-Pers. Nr. 35, A. F., 52jährige Herzpat. mit Koronarinsuffizienz. Nach Anstrengung und Aufregung ziehende Schmerzen in der Herzgegend. Herz: Spitzenstoß im 5. ICR in Medioclav.linie. Normale Konfiguration, kein Geräusch. BD 135/95. Im Ruhe-Ekg. im Juli 1946 flache T-Zacken, Senkung der ST-Strecken in Abl. 1 und 2. Am 10. 6. 47 keine ST-Senkung mehr im Ruhe-Ekg., doch treten nach Belastung Vorhofsextrasystolen und ST-Senkungen in Abl. 1 und 2 auf.

Die Belastung mit 250 kgm in 2′ (Tab. X Nr. 35) zeigt eine maximale Primärverkleinerung von VT um fast 70 %, welche aus einer geringen Primärverkleinerung hervorgeht.

Wieder zeigt sich bei sicher herabgesetzter Leistungsfähigkeit des Herzmuskels eine sehr starke Sekundärverkleinerung von VT.

TABELLE X.

VT bei der 2. Versuchsreihe, 1. Gruppe, prozentuale Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr.	13a	13b	29	35
Belastung kgm	65	120	120	250
Dauer Sek.	55	110	120	120
kgm/Sek.	1,2	1,1	1,0	2,1
nach Belastung:				
sofort	+71	+55	—29	—32
1′	+15	+34	— 9	—60
2′	+ 7	— 1	—15	—69
3′	+ 5	—27	—18	—63
5′	0	—40	—29	—42
7′	—21	—32	—16	—39
10′	—21	—39	—14	— 8
15′	— 2	—16	— 5	+ 1
20′	— 8	—10	—11	+ 5
25′		— 8		
30′		— 9		

TABELLE XI.

VT bei der 2. Versuchsreihe, 2. Gruppe, prozentuale Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr.	11	14a	14b	18	31
Belastung kgm	50	115	310	235	265
Dauer Sek.	50	90	90	120	180
kgm/Sek.	1,0	1,3	3,4	2,0	1,5
nach Belastung:					
sofort	—68	—27	—12	—36	—13
1′	+ 6	—20	—18	—26	— 5
2′	+ 4	—19	—12	—21	0
3′	—12	—22	—20	—29	—19
5′	—12	—21	—19	—17	—11
7′	— 8	—25	—16	— 8	— 9
10′	— 6	— 8	—20	— 2	—16
15′	+ 1	—13	—13	— 8	— 5
20′		—15	—12	— 8	+ 4
25′		+ 7	— 1		
30′		+ 5	+ 2		

TABELLE XII.

VT bei der 2. Versuchsreihe, 3. Gruppe, prozentuale Abweichung vom Ruhewert.

Vers.-Pers. Nr.	41a	41b	41c	15a	15b	33	39	40
Belastung kgm	150	600	900	200	450	135	280	190
Dauer Sek.	35	140	300	90	170	120	120	90
kgm/Sek.	4,3	4,3	3,0	2,2	2,6	1,1	2,3	2,1
nach Belastung:								
sofort	—23	+28	+85	—12	+ 1	—20	—43	—35
1′	+ 1	+24	+63	+11	+15	—22	—13	+ 2
2′	—11	+16	+40	+10	+11	—10	—18	— 2
3′	—19	+ 6	+ 5	— 1	+ 2	— 6	—19	—19
5′	— 9	— 6	— 1	— 4	—22	—21	— 3	—13
7′	—11	—10	—22	— 1	—18	—16	+ 4	+ 3
10′	—11	— 5	—12	—10	—15	—22	0	— 1
15′	+ 1	+ 1	—13	— 8	—29	— 5	— 3	— 5
20′	+ 1	— 7	— 6	— 4	—14		+ 3	— 3
25′		0	—15	— 9	—11			
30′		0	—15	— 9	—10			

Die 2. *Gruppe* von 6 Patienten, welche fraglichen Myokardschaden aufweisen, zeigt in 2 hier nicht besonders aufgeführten Fällen eine Reaktion, wie sie bei Gesunden gefunden wurde. Die andern 4 Fälle zeigen für die Belastungsgröße jeweils starke Sekundärverkleinerungen von VT.

Vers.-Pers. Nr. 11, G. St., 53jährige Pat. mit klimakterischen Beschwerden. Klagt über nächtliches Herzklopfen. Herz normal konfiguriert, leises

systol. Geräusch über der Spitze. B 135/85. Die Pat. erhielt bis 1 Woche vor dem Versuch Strophantin. Ekg.: minimale ST-Senkung in Abl. 1 und 2 (Strophantin?), nach Belastung nicht verstärkt.

Der Belastungsversuch mit 50 kgm in 50″ (Tab. XI Nr. 11) zeigt eine für die geringe Belastung immerhin deutliche Sekundärverkleinerung von VT um 12 %, doch ist diese geringer als die in der ersten Versuchsreihe bei Vers.-Pers. Nr. 1 bei leichter Belastung gefundene und liegt zudem an der Grenze des Meßfehlerbereiches. Katamnestisch ist bemerkenswert, daß $^3/_4$ Jahre später bei der Patientin eine leichte Herzinsuffizienz auftrat.

Vers.-Pers. Nr. 14, A. N., 59jähriger Pat., bei dem eine reparable Facialisparese mit intracraniellem Sitz der Läsion (wahrscheinlich apoplektisch) aufgetreten war. Der Pat. erhielt Strophantin, da er über anginöse Beschwerden bei Anstrengung klagte. Herz leicht aortal konfiguriert, kein Geräusch. BD 170/105, im Ekg. Linkstyp, minimale, nach Belastung nicht verstärkte Senkung der ST-Strecke in Abl. 1 (Strophantin).

Die beiden Belastungsversuche mit 115 kgm in 1′30″ (Tab. XI Nr. 14a) und mit 310 kgm in 1′30″ (Tab. XI Nr. 14b) zeigen eine starke und auffallend lang dauernde (bis 20′) sekundäre VT-Verkleinerung. Im 1. Versuch wurde 1′ nach Belastung eine Vorhofsextrasystole beobachtet. Der 2. Versuch wurde als starke Anstrengung empfunden, doch traten keine anginösen Beschwerden auf.

Vers.-Pers. Nr. 18, C. F., 40j. Pat. mit unspezifischem Lungeninfiltrat bei Bronchiektasien. Herz: leichte Mitralkonfiguration, Spitzenstoß im 5. ICR 1 Querfinger außerhalb Medioclav.linie. Eine vorübergehende Tachycardie war auf die Medikation von KJ zurückzuführen und verschwand nach Absetzen des Jodes. Ebenso verschwanden eine Anstrengungsdyspnoe und Akzentuation des 2. Pulmonaltones nach Resorption des Lungeninfiltrates.

Der Belastungsversuch mit 235 kgm in 2′ (Tab. XI Nr. 18) zeigt eine starke Sekundärverkleinerung von VT nach 3′ von fast 30 %. Die Belastung ist als leicht zu bewerten, da die Arbeit sehr langsam geleistet wurde. Im Ekg. sofort nach Belastung ist eine leichte Senkung der ST_3-Strecke festzustellen (weniger als 0,05 mV).

Vers.-Pers. Nr. 31, E. M., 63j. Pat. mit rezidivierender Bronchopneumonie. Herz klinisch ohne Befund. BD 115/70. Im Ekg. war eine Abflachung der vorher höheren T-Zacken aufgetreten. VT = 0,2 mV.

Der Belastungsversuch mit 265 kgm in 3′ (Tab. XI Nr. 31) zeigt eine geringe Primärverkleinerung und eine ziemlich starke und lange dauernde Sekundärverkleinerung von VT. Die langsam geleistete Arbeit ist als leichte Belastung zu bewerten. Die Sekundärverkleinerung liegt an der Grenze der bei Gesunden gefundenen Werte.

Die sekundäre VT-Verkleinerung von Vers.-Pers. Nr 11 ist für die leichte Belastung deutlich, liegt aber innerhalb der bei Gesunden (1. Versuchsreihe) gefundenen Maximalwerte. Vers.-Pers. Nr. 14 zeigt bei der mäßigen Belastung eine lange Dauer der Sekundärverkleinerung, wie sie bei Normalen nicht gefunden wurde. Die Belastungsversuche bei Vers.-Pers. Nr. 18 und 31 sind als leicht zu betrachten, da die Arbeit langsam geleistet wurde. Die 3′-Werte

beider Versuchspersonen zeigen VT-Verkleinerungen, die stärker sind als die in der 1. Versuchsreihe bei Gesunden gefundenen.

Die 22 Patienten der *3. Gruppe* weisen klinisch und elektrokadiographisch keine Zeichen einer Herzmuskelschädigung auf. 11 der untersuchten Pat. zeigen dabei den gleichen Ablauf der T-Zacken-Veränderungen, wie er bei Normalen gefunden wurde.

6 Pat. zeigen eine nur geringe Primärverkleinerung, dann eine Sekundärverkleinerung von VT, welche den Resultaten bei Gesunden entspricht. Ob diese geringe Primärverkleinerung von VT allein — es folgt keine abnorm starke Sekundärverkleinerung — bereits für eine herabgesetzte Leistungsfähigkeit des Herzens spricht, wie es *Schlomka* und Mitarb. (Typ B) behaupten, muß dahingestellt bleiben. Auch bei Gesunden findet sich in einem Fall eine nur 9%ige Primärverkleinerung nach leichter Belastung, und bei 3 einwandfrei Herzkranken haben wir nur in einem Falle eine Primärvergrößerung gefunden.

Diese 17 Fälle werden hier nicht einzeln aufgeführt. In 2 Fällen der 3. Gruppe ist eine Primärvergrößerung der T-Zacken zu beobachten, und bei 3 Pat. tritt eine Sekundärverkleinerung auf, welche für die geleistete Arbeit im Vergleich zu den Ergebnissen der 1. Versuchsreihe sehr stark erscheint.

Vers.-Pers. Nr. 41, H. St., 24jähriger Cand. med., der ursprünglich für die 1. Versuchsreihe vorgesehen war. Die klinische Untersuchung ergab eine Verbreiterung des Herzens nach links 1 Querfinger außerhalb Medioclav.-linie, Spitzenstoß im 6. ICR, systol. Geräusch mit Maximum über der Spitze. Anamnestisch keine Herzerkrankung bekannt. In der Rekrutenschule sei nach einer starken Anstrengung ein Kollaps aufgetreten, worauf ein Ekg. gemacht worden sei. Der Pat. blieb diensttauglich.

Belastungsversuche (Tab. XII): Im ersten Versuch mit 150 kgm in 35″ (Nr. 41a) primäre VT-Verkleinerung von 23%, nach 3′ Sekundärverkleinerung um 19%. Im 2. Versuch mit 600 kgm in 2′20″ (Nr. 41b) erfolgt eine Primärvergrößerung um 28%, welche nach 7′ in eine 10%ige Sekundärverkleinerung übergeht. Der 3. Versuch mit 900 kgm in 5′ (Nr. 41c), der vom Pat. als sehr starke Anstrengung empfunden wurde, zeigt eine sehr starke Primärvergrößerung von VT um 85%, gefolgt von einer Sekundärverkleinerung von 22% nach 7′.

Bei dieser Versuchsperson wird eine herabgesetzte Leistungsfähigkeit des Herzmuskels bei größeren Belastungen vermutet. Die Belastungsreihe zeigt eine geringe primäre und eine deutliche sekundäre Verkleinerung von VT (stärker als bei Normalen bei leichtester Belastung gefunden) bei der leichtesten Belastung, sehr starke primäre Vergrößerung und deutliche Sekundärverkleinerung bei der großen Belastung.

Vers.-Pers. Nr. 15, O. K., 18jähriger Pat. mit Lymphadenitis, Infantilismus, vegetativer Labilität mit erhöhter Reflexerregbarkeit, Dermographismus. Das Herz zeigt normalen klinischen Befund. BD 125/80.

Der 1. Belastungsversuch mit 200 kgm in 1′30″ (Tab. XII Nr. 15a) zeigt

eine geringe Primärverkleinerung, gefolgt von einer VT-Erhöhung um 10 %, nach 10′ eine unwesentliche Sekundärverkleinerung um 10 %. Nach der größeren Belastung von 450 kgm in 2′ 50″ (Tab. XII Nr. 15b) erfolgt eine primäre VT-Vergrößerung, die nach 1′ noch 15 % beträgt. Dann folgt bei 5′ eine Sekundärverkleinerung um 22 %. (Die bei 15′ auftretende Sekundärverkleinerung um 29 % beruht darauf, daß sich der Pat. unmittelbar vor dieser Aufnahme auf dem Bett gedreht hat, ist also wohl als Primärverkleinerung zu werten!)

Vers.-Pers. Nr. 33, R. L., 41jährige Pat. mit Hypernephrom li. und rechtsseitiger Doppelniere. Hypertonie von 250/150 ohne sicheren Anhaltspunkt für nephrogenen Ursprung. Herz: Spitzenstoß im 5. ICR in der vorderen Axillarlinie, hebend, verbreitert. Leises syst. Geräusch über Spitze und Aorta. Im Ekg. Linkstyp.

Der Belastungsversuch mit 135 kgm in 2′ (Tab. XII Nr. 33), zeigt eine 20%ige primäre VT-Verkleinerung, welcher eine langdauernde und für die leichte Belastung starke sekundäre Verkleinerung von 22 % bis 15′ folgt.

Vers.-Pers. Nr. 39, F. P., 57jährige Pat. mit chron. Arthritis des li. Handgelenks. Herz: nach li. 1 Querfinger außerhalb Medioclav.linie verbreitert, leises systol. Geräusch über dem ganzen Herzen. BD 160/90. Ekg.: leichter Linkstyp, sonst o. B.

Der Belastungsversuch mit 280 kgm in 2′ (Tab. XII Nr. 39) zeigt eine etwas starke Sekundärverkleinerung von VT, doch ist der Befund nicht deutlich.

Vers.-Pers. Nr. 40, E. Sp., 31jährige Pat. mit vegetativer Labilität. Hatte vor 2 Jahren hartnäckige Furunkulose, seither hie und da Kollapszustände, meist morgens. Bei einem solchen war jetzt ein heftiger Hexenschuß aufgetreten. Herz und Ekg. o. B. BD 130/90.

Nach einer Belastung von 190 kgm in 1′ 30″ (Tab. XII Nr. 40) tritt eine für die geringe Belastung starke sekundäre VT-Verkleinerung auf. Sie ist mit 19 % stärker als die bei Gesunden nach leichter Belastung gefundene höchste Sekundärverkleinerung.

Besprechung der Ergebnisse bei Kranken.

Bei den Untersuchungen der 2. Versuchsreihe zeigt eine Reihe von Versuchspersonen ein von den Resultaten bei Gesunden abweichendes Verhalten.

So tritt bei Patienten mit sicher herabgesetzter Leistungsfähigkeit des Herzmuskels (1. Gruppe der 2. Versuchsreihe, Myokardschaden) in allen 3 Fällen eine starke Sekundärverkleinerung von VT auf. Sie ist bedeutend stärker als die bei Gesunden in der 1. Versuchsreihe gefundenen. Bei den 6 Patienten der 2. Gruppe mit fraglichen elektrokardiographischen Veränderungen tritt in 2 Fällen (Nr. 18 und 31) ebenfalls eine stärkere Sekundärverkleinerung von VT auf, wie sie in der 1. Versuchsreihe nie gefunden wurde.

In einem 3. Fall (Nr. 14) dieser Gruppe dauert die Sekundärverkleinerung zudem länger als bei Gesunden. Nach den vorliegenden Ergebnissen erscheint es somit sehr wahscheinlich, daß eine im Vergleich zur geleisteten Arbeit abnorm starke sekundäre VT-Verkleinerung als Zeichen einer herabgesetzten Leistungsfähigkeit des Myokards bewertet werden darf.

Wood und *Wolferth* sowie *Goldhammer* und *Scherf* fanden bei Angina pectoris eine Erhöhung von T, wenn sie die Patienten bis zum Auftreten von anginösen Schmerzen belasteten. Auch *Marzahn* und *Puchlew* fanden bei Patienten mit Myokardschaden häufiger als bei Gesunden eine T-Vergrößerung nach Arbeit. Demgegenüber sahen *Kostjukow* und *Rieselmann, Borgard, Holzmann* und *Wuhrmann* sowie *Schoene* bei Pat. mit Myokardschaden häufig eine T-Verkleinerung nach Arbeit. Es ist nicht ersichtlich, inwiefern diese Unterschiede in den Resultaten daran liegen, daß die Aufnahme zu verschiedenen Zeitpunkten nach Belastungsende gemacht wurden; in den meisten Arbeiten fehlen Angaben über diesen Zeitpunkt. Auch liegen meist nur Beobachtungen in einzelnen Ableitungen vor, so daß nicht beurteilt werden kann, inwiefern die Änderungen der T-Höhen bloß auf Verschiebungen der elektrischen Herzachse beruhen.

Die vorliegenden Untersuchungen ergeben ferner, daß eine einzige Registrierung, welchen Zeitpunkt wir auch immer wählen, nicht in jedem Fall genügt, denn bei Vers.-Person Nr. 13 (Tab. X) ist VT 5′ nach Belastungsende gleich wie in Ruhe, wenn die Arbeit von 1,2 kgm/Sek. 55 Sek. gedauert hat, und VT ist 5′ nach der Belastung um 40 % kleiner, wenn die fast gleiche Arbeitsintensität doppelt so lange angewendet worden ist. Bei der ersten Belastungsform mit sehr geringer Arbeitsleistung genügt die Berechnung von VT aus dem Ekg. 7 oder 10 Minuten nach Belastungsende, um eine weit über die Norm hinausgehende Verkleinerung festzustellen. Sehr wichtig ist auch der Vergleich der beiden Arbeitsversuche bei Vers.-Person Nr. 14 (Tab. XI), aus der hervorgeht, daß gelegentlich die schwächere Belastung (1,3 kgm/Sek. während 90 Sek.) den abnormen Verlauf leichter erfassen läßt als die stärkere Arbeitsleistung (3,4 kgm während derselben Zeit), da bei dieser erst die VT-Werte 15′ nach Belastungsende abnorm erscheinen. Ebenso zeigt bei Vers.-Person Nr. 41 (Tab. XII) die stärkere Belastung von 3,0 kgm/Sek. während 5 Minuten, die trotz geringer Arbeitsintensität bei der Dauer von 5 Minuten als starke Leistung zu betrachten und mit den Normwerten für starke Belastung zu vergleichen ist, nichts Abnormes, während schwächste Belastung von 4,3 kgm/Sek. während nur 35 Sek. abnormen 3 Minutenwert ergibt (—19 %). Andererseits gibt bei Vers.-Person 15 (Tab. XII) erst

die stärkere Belastung von 2,6 kgm/Sek. während 170 Sek. eine deutlich abnorme Reaktion.

Es müssen somit zu einer genauen Analyse des VT-Verlaufs im Arbeits-Ekg. nicht nur mehrere Registrierungen zu verschiedenen Zeitpunkten, wenigstens 3, 5, 10 und 15 Minuten nach Arbeitsende vorgenommen werden, sondern es werden gelegentlich auch mehrere Arbeitsstufen zur Anwendung kommen müssen.

Was die frühzeitigen sog. primären Veränderungen anbetrifft, ergaben 8 Fälle eine nur ganz geringe primäre Verkleinerung von VT, 2 Fälle eine Primärvergrößerung. Diese Ergebnisse entsprechen der von *Schomka* und Mitarb. gefundenen Reaktionsart von Typ B. *Schlomka* traf diese Reaktionsweise bei den stärkeren Belastungen häufiger an und bewertete sie als Zeichen verminderter Anpassungsfähigkeit des Herzens an körperliche Anstrengungen, bes. wenn sie schon bei relativ geringer Belastung auftrat. Bei unseren Untersuchungen fehlt jedoch diese Reaktionsart bei 2 von 3 Herzpatienten, sie findet sich vorwiegend bei vegetativ Labilen. Es muß hier nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Primärveränderungen im Ekg. nach Belastung ganz wesentlich davon abhängen, ob die Belastung im Liegen oder bei aufrechtem Körper durchgeführt wird. Die Kenntnis der normalen Primärverkleinerung von VT bei geringer Belastung im Liegen ist wichtig. Eine Bewegung unmittelbar vor der Registrierung einer Aufnahme (z. B. Drehen auf dem Bett, siehe Vers.-Pers. Nr. 15 Versuch b) kann sie hervorrufen, und die Verkleinerung könnte zu Fehldeutungen Anlaß geben.

Nach den vorliegenden Resultaten ist es für die richtige Beurteilung der T-Zacken-Veränderungen nach Belastung wichtig, folgende Punkte zu beachten:

1. Die *quantitative Beobachtung der Belastungsgröße:* Beim Normalen tritt eine starke Sekundärverkleinerung von VT erst bei mittlerer und starker Belastung auf, während sie bei Patienten mit sicher herabgesetzter Myokardleistungsfähigkeit meist schon bei schwacher Belastung gefunden wird.

2. Die Beobachtung des *Zeitpunktes nach Belastungsende,* bei welchem die Ekg. gemacht werden. Besonders in den ersten Minuten ändern die Verhältnisse sehr rasch. Eine starke Primärverkleinerung der T-Zacken in den ersten 15 Sekunden nach Belastung ist meist eine halbe Minute später weitgehend ausgeglichen.

3. Es dürfen nur Änderungen des *T-Vektors* beachtet werden, nicht aber solche in einzelnen Ableitungen, die auch nur auf einer Verschiebung der Herzachse beruhen können.

4. Beachtung des verschiedenen Ablaufs der Veränderungen von Vektor T je nachdem ob die *Arbeit im Stehen* geleistet wurde, und die anschließende Ekg.-Registrierung im Liegen klinostatische

Einflüsse auf Vektor T aufweist, oder ob eine *Arbeitsleistung im Liegen* zur Anwendung kommt.

Die beiden Versuchsreihen ergeben, daß der *Belastungsversuch* über die funktionelle Anpassungsfähigkeit des Herzmuskels an körperliche Belastung durch die Beobachtung der T-Zacken-Veränderungen Aufschluß geben *kann,* in einzelnen Fällen auch wenn klinisch und elektrokardiographisch keine eindeutig pathologischen Veränderungen nachweisbar sind. Er dürfte für die Beurteilung eines fraglichen Myokardschadens, aber auch für die sportärztliche Untersuchung von Nutzen sein.

Für laufende Untersuchungen dürfte sich folgende Anordnung eignen: Für die sportärztliche Untersuchung eine geringe und eine starke, aber nicht erschöpfende Belastung. Für die Untersuchung von Patienten, die eine Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Herzens vermuten lassen, eine schwache bis mäßig starke Belastung. Vor der Belastung Ruhe-Aufnahme, nachher Aufnahmen nach 3, 5, 10 und 15 Minuten. Damit kann die sekundäre T-Veränderung in Ausmaß und Dauer beurteilt werden. (Wenn auch die Primärveränderung der T-Zacken erfaßt werden soll, muß mit einer Belastungsart gearbeitet werden, welche gestattet, daß der Aufnahmeapparat während der Arbeit angeschlossen und eingeschaltet bleibt, damit die erste Aufnahme nach Belastungsende in den ersten 15 Sekunden erfolgen kann.)

Zusammenfassung.

In der Literatur ist beim Normalen ein gegensätzliches Verhalten der T-Zacken-Veränderungen nach körperlicher Belastung festgestellt: primär eine Verkleinerung und sekundär eine Vergrößerung von T nach leichter Belastung, primäre Vergrößerung und sekundäre Verkleinerung nach starker Belastung (*Walser*). Bei Arbeitsversuchen mit einem Ergometer, welches liegend mit den Armen betätigt wird, wurde ein anderes Verhalten der T-Zacken-Veränderungen nach Arbeit gefunden: bei leichter Belastung starke Primärverkleinerung von T sofort nach Arbeit, von der ersten Minute nach Belastungsende an T-Größe in der Nähe des Ruhewertes, mit zunehmender Belastung weniger starke Primärverkleinerung, aber Auftreten einer sekundären T-Zackenverkleinerung 3 bis 7 Minuten nach Belastungsende, um so stärker, je größer die Belastung war. Eine deutliche Vergrößerung von T wurde bei Ge-

sunden bei der angewendeten Versuchsanordnung, die klinostatische Einflüsse ausschließt, nicht beobachtet.

In einer 2. Versuchsreihe wurden Belastungsversuche an Patienten durchgeführt: Bei Pat. mit sicher herabgesetzter Leistungsfähigkeit des Herzens tritt schon bei leichter Belastung eine starke Sekundärverkleinerung der T-Zacken auf. Außerdem zeigen einzelne Versuche keine Primärverkleinerung oder eine primäre T-Vergrößerung.

Es wird zu zeigen versucht, daß aus dem Ausmaß und der Dauer der T-Zacken-Veränderungen nach Belastung auf die Anpassungsfähigkeit des Herzmuskels an körperliche Arbeit geschlossen werden kann.

Es wird darauf aufmerksam gemacht, daß für die richtige Beurteilung der T-Zacken-Veränderungen nach Arbeit die Beobachtung der Belastungsgröße und des Zeitpunktes nach Belastungsende, bei dem die Aufnahmen erfolgen, ausschlaggebend ist. Außerdem dürfen nur Änderungen der Größe des T-Vektors in Betracht gezogen werden, nicht aber Änderungen der T-Höhe in einzelnen Ableitungen, die möglicherweise nur auf einer Verschiebung der Herzlage beruhen.

Summary.

Immediately after physical exercise in the supine position the electrocardiogram shows a decrease in the height of the T waves which subsides within 1½ minutes; the greater the amount of exercice, the smaller these immediate changes in the electrocardiogram. In contradistinction to this, a secondary similar decrease, which starts after the second minute and reaches its maximum after 3-5 minutes, is the more pronounced and lasting the greater the amount of exercise. With exercise in the standing position changes in the subsequent electrocardiogram, recorded in the supine position, are determined by clinostatic factors resulting in different alterations of the T waves.

Résumé.

Immédiatement après un effort pratiqué dans le decubitus, on observe une diminution de l'onde T de l'ECG, qui disparaît après 1½ minute, et qui est d'autant plus faible que l'exercice a été plus fort (diminution primaire). D'autre part, après la deuxième minute, on trouve une diminution secondaire de l'onde T, qui atteint

son maximum entre la 3e et la 5e minute ; elle est d'autant plus prononcée et d'autant plus durable que l'effort a été plus intense.

Lorsque l'effort est pratiqué en station verticale, l'évolution des modifications de l'onde T est différente.

Literatur.

Albers, Z. klin. Med. *140*, 410 (1942). — *Albers* und *Heinen*, Arb. physiol. *11*, 402 (1941). — *Borgard*, Med. Klin. *29*, 1711 (1933). — *Breu* und *Zollner*, Dtsch. Arch. klin. Med. *185*, 416 (1940). — *Einthoven*, Pflügers Arch. *122*, 517 (1908). — *Frade*, Medicina (Madrid) *10*, 455 (1942), zit. n. Ber. ges. Physiol. *133*, 48 (1943). — *Goldhammer* und *Scherf*, Z. klin. Med. *122*, 134 (1932). — *Herrmann*, Arch. Kreisl.fschg. *3*, 209 (1938). — *Herxheimer*, Z. klin. Med. *98*, 484 (1924). — *Holzmann*, Schweiz. med. Wschr. *1939*, 289. — Helv. med. Acta *8*, 239 (1941). — *Holzmann* und *Wuhrmann*, Dtsch. med. Wschr. *62*, 379 (1936). — *Janzen*, Z. ges. exp. Med. *103*, 671 (1938). — *Kajiura*, Acta Scholae med. Kioto *16*, 1, 99, 103, 310 (1933/34). — *Kostjukow* und *Rieselmann*, Arb. physiol. *3*, 415 (1930). — *Larsen* und *Nielsen*, Hosp. tid. (dän.) *1936*, 949, zit. n. *Lepeschkin*. — *Laurentius*, Arch. Kreisl.fschg. *10*, 346 (1942). — *Leitner* und *Steinlin*, Arch. Kreisl.fschg. *13*, 62 (1943). — *Lepeschkin*, Das Elektrokardiogramm, Dresden und Leipzig 1942. — *Ludwig H.*, Helv. med. Acta *12*, 291 (1945). — *Ludwig W.*, Wien. klin. Wschr. *46*, 1479, 1512 (1933). — *Marzahn*, Z. klin. Med. *130*, 135 (1936). — *Meier*, Schweiz. med. Wschr. *1942*, 736. — *Müller* und *Nicolai*, Zbl. Physiol. *22*, 58 (1908). — *Nordenfelt*, Acta med. Scand. Suppl. Nr. *119* (1941). — *Puchlew*, Clin. bulgar. *14*, 453 (1942), zit. n. Ber. ges. Physiol. *133*, 571 (1943). — *Reindell*, Dtsch. Arch. klin. Med. *182*, 506 (1938) — *Reindell* und *Delius*, Verh dtsch. Ges. Kreisl.fschg. *12*, 196 (1939). — *Riseman*, *Waller* und *Brown*, Amer. Heart. J. *19*, 683 (1940). — *Scherf* und *Weißberg*, Amer. J. med. Sci. *201*, 693 (1941). — *Schlomka*, Arb. physiol. *8*, 172 (1934). — *Schlomka* und *Reindell*, Arb. physiol., *8*, 705 (1935). — Z. klin. Med. *130*, 313 (1936). — *Schlomka*, *Reindell* und *Malamani*, Z. klin. Med. *136*, 367 (1939). — *Schoene*, Verh. dtsch. Ges. inn. Med. *1936*, 331. — *Schulz*, Z. klin. Med. *135*, 136 (1938). — *Takenaka* und Mitarb., Acta Scholae med. Kioto *14*, 344 (1932). — *Tarbucchi*, Atti Soc. med.-chir. Padova *11*, 910 (1934), zit. n. *Lepeschkin*. — *Walser*, Cardiologia *10*, 231 (1946). — *Wood* und *Wolferth*, Arch. int. Med. *47*, 339 (1931).